

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБА ОПУСКАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА И МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕЙ ОПАЛУБКИ

<sup>1,2</sup>Хафизов Т. М., <sup>2</sup>Байбурин А. Х.

<sup>1</sup>ООО «Зеленая энергия», г. Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия

e-mail: X-T-M@mail.ru, abayburin@mail.ru

**Аннотация.** В статье описаны технологические особенности метода скользящей опалубки, сложность технологии, недостатки, влияющие на технологическую и экономическую эффективность при выборе проектного решения. В сравнении, с представленным способом формования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона. Который является более простым и технологически эффективным. Что послужит основанием для разработки научной методологии системного проектирования при строительстве промышленных и гражданских сооружений. Раскрыто явление торможения строительного процесса при формировании железобетонных изделий на площадке строительства на уровне механизации и автоматизации. Предложены условия для ускорения, удешевления, внедрения роботизации процесса строительства на примере нового способа, что обеспечит ряд технико-экономических преимуществ в будущем. Актуальность нового способа подтверждается отсутствием фундаментальных теоретических исследований в этой области знаний и обоснования возможной области практического применения новой технологии. Как в Росатоме, в Роскосмосе, в Министерстве обороны. Представленный способ является продолжением (целеполагание) профессора А. Ф. Мацкевича на монолитный процесс как "технология которая должна быть малолюдной".

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, монолитное строительство, метод опускающегося бетона, скользящая опалубка, автоматизация, роботизация.

## THE METHOD OF FORMING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY MEANS OF DESCENDING CONCRETE

T. M. Khafizov<sup>1,2</sup>, A. Kh. Baiburin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>"Green Energy", Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

e-mail: X-T-M@mail.ru, abayburin@mail.ru

**Abstract.** The article describes a new method for molding reinforced concrete structures by means of descending concrete in various building conditions. The urgency of the problem is confirmed by the absence of fundamental theoretical studies in this field of knowledge and justification of the field of practical application of the new technology. The phenomenon of inhibition in the level of mechanization and automation of the building process for the molding of reinforced concrete structures at the construction site is disclosed. Proposals on its acceleration, reduction in cost, introduction of robotization are formulated, which will provide a number of technical and economic advantages of the new method. A comparative analysis of the method of sliding formwork and the method of descending concrete was carried out, technological shortcomings, shortcomings in the tooling, defects in the production of work were revealed. The advantages of this technology are established as more simple and technologically efficient, which in future will serve as a basis for developing a scientific methodology for system design in the construction of industrial and civil structures.

**Key words:** reinforced concrete structures, monolithic construction, method of falling concrete, sliding formwork, automation, robotization.

### **Введение**

Анализ истории технологии монолитного строительства показывает, что за последние два десятилетия существенных изменений в этой области не наблюдается. Что имеется в виду? Для придания формы монолитному бетону необходима опалубка. Все виды и формы опалубочных систем объединяет одно – это сборка и разборка частей, узлов, вспомогательных элементов, с целью их перестановки по захваткам. Опалубочные работы достигают 40 % общей трудоемкости. Тенденций развития, направленных на сокращение трудозатрат, уменьшение веса, упрощение узлов, увеличение оборачиваемости палубы, к сожалению, нет в качественном плане [1, 2].

Уровень технологии железобетонных работ в РФ, хотя и медленно развивается, но принципиально не совершенствуется, особенно в части технологического оснащения. Современные отечественные модели оснастки копируются с зарубежных образцов опалубочных систем без доработки, без обоснования технической целесообразности, без выхода на изобретательский уровень. Наблюдается состояние, близкое к торможению в развитии монолитного строительства, что является признаком зарождения принципиально новых технологий, которые заменят технологию традиционную.

### **Традиционная технология**

Современный способ возведения включает в себя изготовление фундаментов: монолитных или сборных, столбчатого или плитного типа. Применяются колонны заводского или объектного изготовления. Устраиваются плиты перекрытия: монолитные по месту изготовления или сборно-монолитные. Наружные стены возводят из сборных панелей или блоков, в последнее время чаще для стен используют мелкоштучные материалы. Данный способ впервые опробовался в Челябинске в 1985 году трестом «Челябметаллургстрой» при строительстве 16-этажных сборно-монолитных жилых домов [3–5].

Для выполнения работ по возведению несущего конструктива необходима опалубочная система, состоящая из сборно-разборных щитов, схваток, стоек, подкосов, устройств для выверки, перемещения, распалубки и пр. [6]. Механизация технологического процесса традиционна: не обойтись без башенного крана, без стационарного бетононасоса или автобетононасоса. Необходимы также телескопические гидроподъемники или леса для монтажа навесного вентилируемого фасада или устройства «мокрого фасада».

Практически это типовой способ строительства, технология возведения от фундаментов до покрытия проста, понятна, отработана, экономически целесообразна (при достигнутом в РФ уровне бетонных работ). В условиях экономического кризиса нет организаций, желающих вкладываться в новые неопробованные технологии, применяются отработанные зарубежные технологии.

Предполагаемый алгоритм развития в монолитном строительстве также традиционен для техносферы: в начале применяется ручной труд, затем – механизация с переходом в автоматизацию, в дальнейшем – роботизация. Пример процесса развития в этом направлении наблюдался у метода скользящей опалубки. Данный метод экспериментально применялся в 70–80 годы при возведении объектов курортного

назначения в регионах России с тёплым климатом. Но недостатки и сложность технологии и, как следствие, невысокое качество конструкций сдерживали широкое распространение монолитного домостроения методом скользящей опалубки. На современном этапе применение данного метода концентрируется в основном на высотных объектах с малым диаметром или периметром. Параметры здания определяют экономическую целесообразность метода.

По классификации ГОСТ 52085-2003 [7] скользящая опалубка относится к подвижным опалубкам. Технологический процесс бетонирования в скользящей опалубке состоит из следующих операций: монтаж, выверка и испытание опалубки с гидрооборудованием (домкраты и насосно-распределительная система); установка арматуры и закладных деталей и откосообразователей; бетонирование; подъём опалубки.

Способ бетонирования в вертикально-скользящей опалубке [8]: первоначально опалубка заполняется бетонной смесью двумя или тремя слоями на высоту, равную половине высоты опалубки. Укладка второго и третьего слоёв производится только после окончания укладки предыдущего слоя по всему периметру опалубки. Дальнейшее заполнение опалубки возобновляется только после начала её подъёма и заканчивается не позднее, чем через 6 часов.

До заполнения опалубки бетонной смесью на полную высоту её подъём осуществляется со скоростью 60–70 мм в час. После первоначального заполнения опалубки на всю высоту, при дальнейшем её подъёме, бетонная смесь укладывается непрерывно слоем толщиной до 200 мм в тонких слоях и не более 250 мм – в остальных конструкциях. Укладка нового слоя производится только после окончания укладки предыдущего слоя, до начала его схватывания. В процессе бетонирования верхний уровень укладываемой смеси должен быть ниже верха щитов опалубки более чем на 50 мм. Уплотнение бетонной смеси производится глубинным вибратором с гибким валом. Диаметр наконечника вибратора должен быть 35 мм при толщине стены до 200 мм и 50 мм – при большей толщине.

Интервалы между подъёмами опалубки не должны превышать 8 минут при использовании вибраторов. Скорость подъёма опалубки при температуре наружного воздуха 15–20°C, и использовании портландцемента М500 достигает 150–200 мм в час.

#### **Недостатки известной технологии**

Раскроем основные дефекты технологии скользящей опалубки [8, 9]:

1. Срывы бетона – несквозные щели и сквозные отверстия, образующиеся при подъёме опалубки, в связи с защемлением опалубочными щитами.
2. Горизонтальные трещины сквозные или несквозные.
3. Горизонтальные наплывы бетона, образующиеся в результате несоблюдения технологических параметров, определяющих кинетику набора прочности бетона.
4. Раковины и неплотности на поверхности стен в результате нарушения технологического процесса при укладке бетона.
5. Задиры, сколы, шероховатости бетонных стен, как результат недостатка технологии и контроля за поверхностью палубы, геометрическими отклонениями системы.

В процессе бетонирования стен в скользящей опалубке могут произойти «срывы» бетона, оговоренные ранее. Опалубка увлекает за собой часть неокрепшего бетона стены.

В результате образуются раковины, оголяющие арматуру. Основные причины срывов следующие: загрязнение опалубки, несоблюдение конусности опалубки, большие перерывы при бетонировании.

В случае вынужденного перерыва в бетонировании следует принять меры против сцепления уложенного бетона с опалубкой [10, 11]. Опалубка медленно поднимается до образования видимого зазора между опалубкой и бетоном, либо периодически поднимается и опускается в пределах одного шага гидродомкрата (шаг на месте). При возобновлении бетонирования необходимо очистить опалубку, удалить цементную плёнку с поверхности бетона и увлажнить поверхность.

Таким образом, основным недостатком вертикально-скользящей опалубки является значительная трудоёмкость процесса и сложность технологии. Следует также отметить высокую стоимость устранения дефектов, допущенных при бетонировании в скользящей опалубке. Для устранения дефектов предусмотрены специальные подмости. Следовательно, актуальной задачей является снижение трудоёмкости, упрощение технологии бетонирования, устранение дефектов [12].

#### **Новый технологический способ**

Поставленная задача решается способом формирования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона, включающим обустройство опалубки с переменными элементами, армирование, укладку и уплотнение бетонной смеси, а также распалубку бетона. Выполняют опалубку из вертикальных палуб и горизонтального днища, укладку бетона осуществляют заполнением опалубки поочерёдно несколькими слоями бетонной смеси на высоту, равную части высоты опалубки, причём верхний уровень укладываемой смеси расположен ниже верха опалубки. Укладку второго и следующих слоёв производят только после окончания укладки предыдущего слоя по всему периметру опалубки, дальнейшее заполнение опалубки возобновляют только после окончания укладки и упрочнения слоёв бетона.

Опалубочная система представляет собой две вертикальные палубы с минимальным уклоном вниз от вертикали  $1\text{--}5^\circ$ . Вертикальные палубы неподвижны. Находящаяся между ними горизонтальная палуба опускается или поднимается под воздействием гидродомкратов, либо за счёт полиспастовой системы. Горизонтальная палуба соединена с механизмами подъёма или опускания посредством металлического вертикального стержня или гибкого троса (рис. 1).

Процесс осуществляется следующим образом. В исходном состоянии горизонтальная палуба опущена относительно верха вертикальной палубы на 30–50 см. Монолитный бетон подаётся в опалубочную систему, где бетонная смесь укладывается в пространство между вертикальной и горизонтальной опалубкой, набирает минимальную прочность при воздействии внутренних и внешних факторов. Затем включается электрогидромеханизм опускания и горизонтальная палуба вместе с первым слоем бетона опускается вниз постепенно с малой скоростью 0,5–1 см в минуту. Верхняя часть бетона удерживается учащённой горизонтальной арматурой от отрыва от общей массы слоя бетона. Вертикальная палуба придаёт форму бетонному элементу.

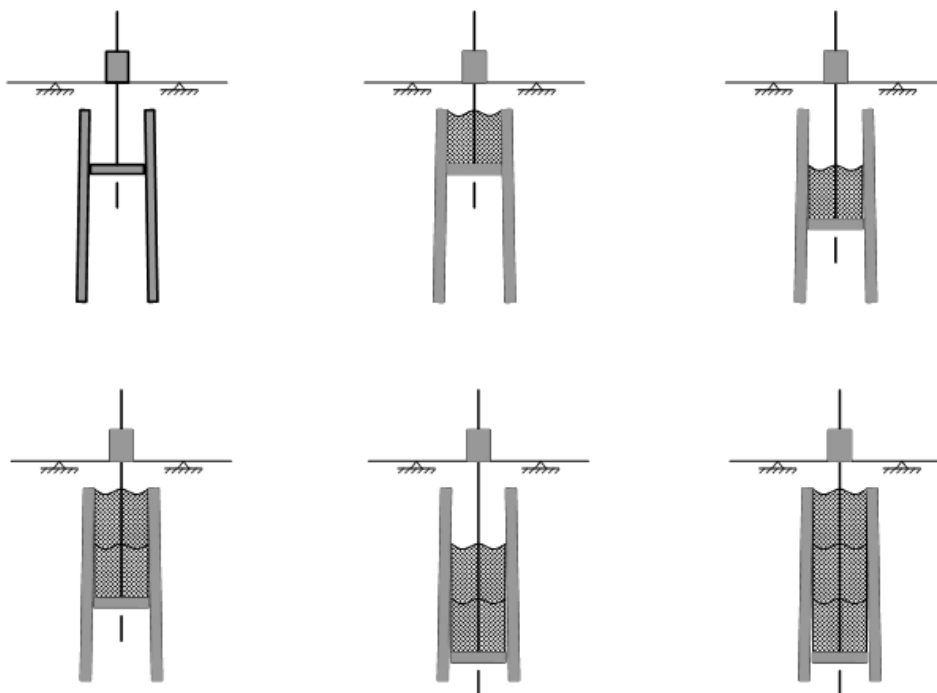


Рис. 1. Принципиальная схема бетонирования методом опускающегося бетона по этапам

Первый слой бетона опущен на глубину 30–50 см относительно верха. Горизонтальная палуба останавливается. Начинает укладываться второй слой бетона толщиной 30–50 см. Палуба начинает движение вниз со скоростью 0,5–1,0 см в минуту. Во время движения бетон набирает минимальную прочность для того, чтобы можно было уложить третий слой. Чтобы дополнительно исключить отрыв или разрыв слоя бетона между вертикальными палубами и бетоном находится плёнка, которая движется вместе с бетоном, создавая минимальное трение и исключая сцепление между палубой и слоем бетона. При остановке системы не наблюдается сцепление бетон-палуба. После того как второй слой бетона опустится на глубину 30–50 см, а первый слой на глубину 60–100 см, укладывается третий слой бетона. Нижняя палуба начинает двигаться вниз. Третий слой, опускаясь, набирает прочность. В это время первый слой, набрав необходимую прочность, доходит из границ низа вертикальной палубы, образовав монолитную стену, либо колонну, или другой монолитный объёмный элемент. После того, как первый слой вышел из границ опалубки, укладывается четвёртый, пятый и последующие слои бетона. С первым или последним слоем возможны бетонирование плиты перекрытия и дальнейшее опускание или подъём вместе с горизонтальным бетонным элементом, образуя монолитный объёмный элемент [12].

В сравнении с методом скользящей опалубки заявленный способ является более простым по технологии осуществления и менее трудоёмким. Данный способ бетонирования может найти широкое применение при изготовлении объёмных элементов типа блок-комнат для жилищного строительства, для строительства пространственных высотных конструкций, а также для подземного строительства [13]. Данное направление в технологии возведения промышленных и гражданских объектов невозможно без автоматизации и, в дальнейшем, роботизации строительного процесса (целеполагание профессора А.Ф. Мацкевича – «Технология должна быть малолюдной»).

Сравнительные характеристики технологических показателей метода скользящей опалубки и способа опускающегося бетона приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительные характеристики технологических показателей**

<b>Метод скользящей опалубки</b>	<b>Способ опускающегося бетона</b>
Вертикальные палубы поднимаются вверх со скоростью 0,1–0,5 см / мин	Горизонтальная палуба опускается вниз со скоростью 0,5–1 см / мин
Вертикальные стержни работают на сжатие, поэтому проемы только узкой формы	Вертикальные стержни работают на растяжение, поэтому возможна установка проемов любой формы
В процессе движения вертикальной опалубки присутствует сцепление (адгезия, когезия, усадка) и удельное трение	В процессе движения бетона отсутствует сцепление с опалубкой, присутствует только удельное трение
В процессе бетонирования вертикальные палубы нуждаются в постоянной очистке от налипшего бетона	Вертикальные палубы не нуждаются в очистке
Из-за особенностей технологии и конструкции палубы присутствуют основные дефекты: срывы, задиры, сколы, шероховатости	Предположительно в связи с тем, что между бетоном и опалубкой находится пленка, будут отсутствовать основные дефекты
Уровень укладки бетона меняется через каждые 20–30 см	Горизонт укладки бетона находится на одном уровне, или меняется либо через 6 м, либо через 12 м
Применяется только для надземных сооружений с малым диаметром: дымовые трубы, элеваторы, силосы, башни. При более сложных объектах с устройством перекрытий технология более трудоемкая и менее эффективная	Применяется для подземных и надземных сооружений любой сложности. При увеличении скорости бетонирования, снижении дефектности, уменьшении количества операций процесс является менее трудоемким и более экономически и технологически эффективным

Описанные преимущества метода обуславливают возможные области применения новой технологии [13–14]:

- хранилища для отходов (госкорпорация «Росатом»);
- объекты противокосмической защиты (Министерство обороны);
- жилые и служебные помещения при экстремальных условиях (Роскосмос);
- заглубленные гражданские сооружения: многоэтажные парковки; транспортные узлы и т.д.

**Заключение**

Таким образом, проведенный анализ показал принципиально «застывший» уровень технологии монолитного строительства за последние два десятилетия, что позволяет судить об этапе торможения в развитии перед рождением новых технологий. Традиционная технология ускоренного возведения в скользящей опалубке имеет целый ряд «родовых дефектов». Авторами предложен и запатентован принципиально новый способ монолитного строительства – способ опускающегося бетона. Кратко раскрыты некоторые технологические особенности нового способа, как более простого и технологически эффективного в сравнительном анализе с известным методом скользящей опалубки при сохранении главного преимущества в скорости строительства. Для изучения данного способа предполагается изготовить экспериментальную установку «лифт для бетона» размерами 1,5×1,5 м, высотой 2,5 м с оснащением необходимым оборудованием и измерительными приборами. На данной установке будут производиться лабораторные

исследования вариантов технологии в различных условиях с целью оптимизации технологических параметров.

### **Список литературы**

1. Michel, Т.К. Construction waterproofing: handbook/ Т.К. Michel – McGraw–Hill Compaies, 2008. – 648 p.
2. Атаев, С.С. Технология и механизация строительного производства В 2-х томах / С.С. Атаев. – М.: Высшая школа, 1983.–315 с (т. 1), 359 с (т. 2).
3. Байбурин, А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий / А.Х. Байбурин. – М.: Изд-во АСВ, 2015. –336 с.
4. Современные строительные технологии / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 268 с.
5. Крылов, Б.А. Рекомендации по производству бетонных работ в зимних условиях / Б.А. Крылов. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1979. – 106 с.
6. Мацкевич, А.Ф. Несъемная опалубка монолитных конструкций: учеб. пособие / А.Ф. Мацкевич. – М.: Стройиздат, 1986. – 97 с.
7. ГОСТ 52085–2003. Опалубка. Общие технические условия. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.
8. Мацкевич, А.Ф. Проектирование и применение скользящей опалубки / А.Ф. Мацкевич. – Горький: ГТУ, 1984. – 70 с.
9. Мацкевич, А.Ф. Опалубки и смазки, повышающие качество и интенсифицирующие производство железобетонных конструкций: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / А.Ф. Мацкевич. – М.: МОТКЗИСИ им. В.В. Куйбышева, 1987. – 20 с.
10. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: Справ. пособие / В.С. Рамачандран. – М.: Стройиздат, 1984. – 577 с.
11. Чирков, Ю.Б. Методические рекомендации по производству бетонных работ с применением суперпластификаторов и других эффективных добавок / Ю.Б. Чирков. – М.: ЦНИИОМТП, 1985. – 62 с.
12. Пат. RU2566540C1 Российская Федерация, МПК7 Е 04 В 2/84 (2006.01); Е 04 G 11/22 (2006.01) Способ формирования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона / Т.М. Хафизов, С.Г. Головнев, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов. – № 2014139756/03; заявл. 30.09.2014; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30. – 2 с.
13. Пат. RU2604098C1 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 29/045 (2006.01). Способ строительства подземного многоэтажного сооружения / Т.М. Хафизов, А.Х. Байбурин, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов. – № 2015147095/03; заявл. 02.11.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. – 2 с.
14. Пат. RU2510088 С1 Российская Федерация, МПК7 G 21 Н 1/06 (2006.01). Подземный ядерно-энергетический комплекс / Т.М. Хафизов, С.Е. Денисов, Г.Т. Хафизов. – № 2012142792/07; заявл. 08.10.2012; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8. – 2 с.